環境與稻作生產
第五章　臺灣地區農業氣象災害與稻作生產
69 - 85, 1999

第五章　臺灣地區農業氣象災害與稻作生產

申　　雍
國立中興大學土壤環境科學系

摘要 ---------- 70
壹、前言 ---------- 70
貳、風害及其防護措施 ---------- 71
參、雨害及其防護措施 ---------- 79
肆、旱害及其防護措施 ---------- 79
伍、寒害及其防護措施 ---------- 81
陸、結語 ---------- 82
柒、引用文獻 ---------- 83
英文摘要(ABSTRACT) ---------- 85

第五章　臺灣地區農業氣象災害與稻作生產

申　　雍
國立中興大學土壤環境科學系

摘　　要

臺灣地區稻作生產中常發生的農業氣象災害有風害、雨害、旱害、及寒害等四種，近二十年中累積損失金額超過一百億元。惟受季風方向與地形的影響，臺灣各地區罹受此四種災害的機率並不完全相同，具有顯著的地域性及季節性差異。易遭受風害的區域有臺北、桃園、臺中、彰化、雲林、嘉義、高雄、宜蘭等地區；易遭受雨害的區域有彰化、雲林、嘉義、宜蘭等地區；易遭受旱害的區域有苗栗、雲林、宜蘭、臺東等地區；易遭受寒害的區域有臺中、雲林、宜蘭等地區。由於耕地面積有限，各地稻作栽培期間的選擇常無法顧及氣候上的安全性，因此需開發各式保護措施，改變農田局地微氣候環境，減少異常天氣對作物之影響程度。在各種有關稻作生產農業氣象災害的防護措施中，尤應加強有關防風林帶的規劃和設置，以及有關水田土壤滲漏速度之改良等長期性防護措施的研究與推廣工作，因爲這些措施不僅可提升水稻田的「生產性機能」，也可增加水稻田在「生態性機能」和「生活性機能」兩方面的貢獻。

關鍵詞：颱風、鹽風、焚風、梅雨、豪雨、乾旱、低溫、水稻、防護措施。

壹、前言

臺灣地處亞洲大陸與太平洋交接之低緯地帶，季風氣候特徵明顯，且有雪山山脈、中央山脈、阿里山山脈、東部海岸山脈等高大山系由北至南縱亙於島之中央，由於山系走向與盛行季風風向斜交，不僅形成多種氣候類型，且極易發生農業氣象災害。冬季受蒙古冷高壓影響，形成東北季風型氣候，強烈的東北風易使中北部沿海地區的水稻罹受風害，寒潮暴發時則易遭受寒害。春夏之交受滯留鋒徘徊影響，造成陰雨綿綿的梅雨氣候，使得各地水稻易遭受雨害。夏秋季節則有颱風不定期之侵襲，強風豪雨摧殘之下，水稻生產亦大受影響。西南部平原冬半年又有較長之旱季，常使沿海地區稻作產生旱害。因此臺灣地區雖具有高溫多雨的氣候特徵，非常適合稻作之生產，但是受各種異常天氣如颱風、東北季風、梅雨、乾旱、寒潮等之影響，農業氣象災害頻繁損失頗巨，惟受地形及地理位置的影響，各地罹受各種災害的機率並不相同，具有顯著的地域性及季節性差異。

臺灣地區農作常見的氣象災害可分爲風害、雨害、旱害、及寒害等四種(郭，1980；楊，1995)。依據臺灣農業年報自 1978 至 1997 二十年間有關農業氣象災害的統

計記錄(表 1、2、3、4)，風害對稻作栽培所造成的損失最為嚴重，歷年總損失達 83 億元；其次為雨害，歷年總損失約 24 億元；旱害造成之總損失約 3 億元，寒害所造成的總損失約 1 億元。由於各地區種植水稻的期作與面積不一，因此在推論各地遭受此四種農業氣象災害的機率時，以受災面積佔各地區全部種植面積的比例較僅依受災面積更為合理。若風害和雨害依受災面積超過全部種植面積之 2%，旱害和寒害依受災面積超過全部種植面積之 0.5%進行區分，則可知易遭受風害的區域有臺北、桃園、臺中、彰化、雲林、嘉義、高雄、宜蘭等地區；易遭受雨害的區域有彰化、雲林、嘉義、宜蘭等地區；易遭受旱害的區域有苗栗、雲林、宜蘭、臺東等地區；易遭受寒害的區域有臺中、雲林、宜蘭等地區。不同年期間稻作生產遭受災害的受損比例變異大，應與災害的強度和發生的時期有關。但是，若由發生頻度最高，影響地區最廣的風害觀之，受害稻作面積佔全部稻作面積的比例，在臺灣西半部地區似乎有逐年下降的趨勢，在東半部卻沒有明顯下降的趨勢，此可能與近年西半部沿海地區水稻種植面積逐漸減少，轉為養殖漁業有關。

臺灣地區目前稻作栽培制度種植兩期水稻。一般而言，一期作水稻的生育期間，南部地區為一月上旬至六月中旬，中部地區為二月中旬至六月下旬，北部地區為三月上旬至七月中旬。二期作水稻的生育期間，南部地區為七月上旬至九月下旬，中部地區為七月中旬至十月中旬，北部地區為七月下旬至十一月上旬。曾等(1984)依據 1961-1980 之氣候統計資料，以(1)每旬日絕對最低溫≦10℃之頻率≦10%，(2)每旬日平均風速＞3 ms^{-1} 之頻率≦50%，(3)每旬連續 3 日降雨(每日雨量≧10 mm)≧60 mm 之頻率≦5.5%等三項標準訂定臺灣地區各氣候分區農作的安全栽培期限如圖一。但是，由於耕地面積有限，各地區稻作栽培時期的選擇常無法顧及氣候上的安全性，因此需開發各式保護措施，改變農田局地微氣候環境，以減少異常天氣對作物之影響程度。以下乃分別就臺灣地區稻作遭受各種農業氣象災害的受損情形、敏感時期、受損率與受害徵狀，以及可能的防護措施分別予以說明。

貳、風害及其防護措施

容易導致臺灣地區稻作遭受風害的天氣型態有兩種，一為冬季強烈的東北季風，一是夏秋季的颱風。東北季風常挾帶海水鹽沫對稻作產生危害，有季節性與地域性，且持續時間長。颱風則為偶發性，但破壞力大，危害面積廣，並常導致焚風之生成。以下分別將稻作風害區分為颱風害、鹽風害和焚風害等三類討論。

一、颱風害

颱風侵臺最早始於 4 月下旬，最晚終於 11 月下旬，但以 7、8、9 月間侵臺頻率最高。颱風侵臺期間適逢一期作的收穫期與二期作的生育全期，因此水稻受颱風為害的機會很大。由於地形之影響，不同侵襲路徑的颱風對各地水稻為害的程度也有差異。依據八十年來侵臺颱風記錄，中央氣象局將侵襲臺灣之颱風路徑分為六大類(圖二)。郭(1980)指出第一類路徑的颱風使北部與東北部的稻作遭受雨害，若颱風發生於九、十月間，因受東北季風增強之影響，雨害最為嚴重。第二類之颱風對登陸之東部地區帶來強風，但西部平原受中央山脈之屏障，風害並不嚴重；在登陸前雨量集中於東部、東北部和北部，颱風中心過山後，雨量則集中於西南部。第三類颱風在臺東、屏東、高雄等地產生強風，降雨則集中於東部、宜蘭和臺北等地。第四類颱風主要對東部地區產生風害與雨害。第五、六類颱風則在南部地區產生風害和雨害。因此，臺灣地區栽培水稻以東

Table 1. Damaged area, percent of damaged to cultivated field and total loss of paddy rice by wind (Typhoon, salt-spray and Foehn) in Taiwan from 1978 to 1997.

Prefecture	1978-1982			1983-1987			1988-1992			1993-1997		
	Area (ha)	Ratio (%)	Loss (M NT$)	Area (ha)	Ratio (%)	Loss (M NT$)	Area (ha)	Ratio (%)	Loss (M NT$)	Area (ha)	Ratio (%)	Loss (M NT$)
Taipei	10251	4.3	48.5	725	0.3	11.4	1242	0.6	10.7	759	0.4	17.5
Taoyuan	12585	5.1	177.7	2694	1.2	62.9	2	0.0	0.2	3196	1.5	37.7
Hsinchu	447	0.2	8.8	71	0.0	1.7	117	0.1	4.8	172	0.1	9.8
Miaoli	339	0.2	7.1	871	0.5	16.9	1024	0.5	52.3	1353	0.8	44.8
Taichung	142	0.0	4.0	24495	7.9	174.9	11900	3.7	282.3	2142	0.7	61.7
Nantou	1018	0.3	23.6	791	0.3	11.2	361	0.1	6.8	237	0.1	5.4
Changhwa	10576	2.9	117.7	44156	12.2	1292.3	29410	8.3	364.0	18875	5.6	467.7
Yunlin	14612	3.3	147.7	38735	8.8	769.9	17758	4.1	250.6	12622	2.9	97.8
Chiayi	10282	3.0	59.0	14301	4.1	219.9	17364	4.5	265.2	5920	1.5	82.6
Tainan	28452	5.4	164.4	21399	4.1	255.3	19829	3.7	219.3	11176	2.2	160.7
Kaohsiung	22966	7.7	158.4	3765	1.3	7.4	11711	4.0	96.0	7917	2.9	103.3
Pingtung	38621	9.3	243.7	7916	2.0	61.5	11769	3.0	265.0	4937	1.3	50.0
Yilan	21726	14.8	281.8	1843	1.2	23.0	9753	6.9	86.2	9736	7.0	428.5
Hwalien	1610	0.7	20.5	3249	1.5	45.5	4557	2.1	129.1	6097	2.8	209.0
Taitung	2650	1.1	19.5	3032	1.2	31.0	1607	0.7	36.3	1136	0.5	28.4
Total	176277	3.9	1482.5	168043	3.8	2985.1	138404	3.1	2068.9	86275	2.0	1805.0

Table 2. Damaged area, percent of damaged to cultivated field and total loss of paddy rice by rain (Mei-Yu and storm) in Taiwan from 1978 to 1997.

Prefecture	1978-1982			1983-1987			1988-1992			1993-1997		
	Area (ha)	Ratio (%)	Loss (M NT$)	Area (ha)	Ratio (%)	Loss (M NT$)	Area (ha)	Ratio (%)	Loss (M NT$)	Area (ha)	Ratio (%)	Loss (M NT$)
Taipei	1436	0.6	8.5	1560	0.7	25.4	82	0.0	2.3	0	0.0	0.0
Taoyuan	243	0.1	12.9	5	0.0	0.2	1064	0.5	10.2	4	0.0	0.1
Hsinchu	1030	0.5	22.8	447	0.3	19.0	320	0.2	15.2	42	0.0	1.3
Miaoli	712	0.4	8.6	0	0.0	0.0	20	0.0	1.3	337	0.2	23.4
Taichung	793	0.3	1.9	31	0.0	2.4	2538	0.8	44.9	1734	0.6	16.8
Nantou	597	0.2	11.6	266	0.1	18.6	5976	1.9	118.1	19	0.0	0.4
Changhwa	8073	2.2	52.9	26	0.0	0.3	21294	6.0	231.1	2166	0.6	32.7
Yunlin	13128	3.0	45.7	19750	4.5	193.9	30101	6.9	379.3	4665	1.1	42.3
Chiayi	7584	2.2	33.8	3552	1.0	31.4	14900	3.8	209.8	2571	0.6	38.3
Tainan	6147	1.2	42.9	539	0.1	10.3	5589	1.1	70.6	2778	0.5	36.7
Kaohsiung	9377	3.1	89.5	5980	2.1	75.0	2140	0.7	4.6	2456	0.9	9.2
Pingtung	5486	1.3	70.7	4838	1.2	59.6	1128	0.3	4.4	240	0.1	0.4
Yilan	1801	1.2	7.5	5920	4.0	60.8	9249	6.5	205.9	525	0.4	11.9
Hwalien	15	0.0	0.3	718	0.3	8.9	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
Taitung	0	0.0	0.0	4	0.0	0.2	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
Total	56422	1.2	409.6	43636	1.0	506.2	94401	2.1	1297.8	17537	0.4	213.6

Table 3. Damaged area, percent of damaged to cultivated field and total loss of paddy rice by drought in Taiwan from 1978 to 1997.

Prefecture	1978-1982			1983-1987			1988-1992			1993-1997		
	Area (ha)	Ratio (%)	Loss (M NT$)	Area (ha)	Ratio (%)	Loss (M NT$)	Area (ha)	Ratio (%)	Loss (M NT$)	Area (ha)	Ratio (%)	Loss (M NT$)
Taipei	0	0.0	0.0	297	0.1	1.8	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
Taoyuan	625	0.3	20.8	100	0.0	1.4	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
Hsinchu	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	14	0.0	0.4
Miaoli	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	6	0.0	0.2	2923	1.6	41.2
Taichung	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	349	0.1	9.9
Nantou	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
Changhwa	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
Yunlin	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	2311	0.5	35.5	0	0.0	0.0
Chiayi	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	662	0.2	15.9	0	0.0	0.0
Tainan	1117	0.2	30.1	0	0.0	0.0	2239	0.4	32.1	0	0.0	0.0
Kaohsiung	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
Pingtung	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
Yilan	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	1073	0.8	26.0	0	0.0	0.0
Hwalien	80	0.0	3.0	9	0.0	0.1	0	0.0	0.0	80	0.0	2.1
Taitung	2406	1.0	66.6	0	0.0	0.0	291	0.1	8.1	0	0.0	0.0
Total	4228	0.1	120.4	406	0.0	3.4	6582	0.1	117.8	3366	0.1	53.7

Table 4. Damaged area, percent of damaged to cultivated field and total loss of paddy rice by cold temperature in Taiwan from 1978 to 1997.

Prefecture	1978-1982			1983-1987			1988-1992			1993-1997		
	Area (ha)	Ratio (%)	Loss (M NT$)	Area (ha)	Ratio (%)	Loss (M NT$)	Area (ha)	Ratio (%)	Loss (M NT$)	Area (ha)	Ratio (%)	Loss (M NT$)
Taipei	0	0.0	0.0	157	0.1	3.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
Taoyuan	0	0.0	0.0	58	0.0	1.6	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
Hsinchu	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
Miaoli	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
Taichung	0	0.0	0.0	2300	0.7	22.5	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
Nantou	0	0.0	0.0	86	0.0	0.5	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
Changhwa	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
Yunlin	0	0.0	0.0	7014	1.6	12.4	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
Chiayi	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
Tainan	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
Kaohsiung	0	0.0	0.0	46	0.0	0.6	0	0.0	0.0	411	0.1	17.0
Pingtung	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	86	0.0	0.3
Yilan	0	0.0	0.0	2170	1.5	9.7	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
Hwalien	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
Taitung	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	536	0.2	8.4
Total	0	0.0	0.0	11831	0.3	50.2	0	0.0	0.0	1033	0.0	25.7

Climatic Zone	Jan			Feb			Mar			Apr			May			Jun			Jul			Aug			Sep			Oct			Nov			Dec		
	F	S	T	F	S	T	F	S	T	F	S	T	F	S	T	F	S	T	F	S	T	F	S	T	F	S	T	F	S	T	F	S	T	F	S	T
I							◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎														
II(N end)									◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎								
II(S end)								◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎			◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎								
III(Inland)								◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎			◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎			
III(Sea shore)																			◎	◎		◎														
IV								◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎			◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
V(N end)						◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎			◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
V(S end)	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎			◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
VI										◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎			◎		◎	◎	◎									
VII(N end)	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎		◎	◎	◎
VII(S end)		◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎								

Figure 1. Safety cultivation period for various agroclimatic zone in Taiwan. (Adapted from Tseng, *et al.*, 1984)

Note 1: Letters F, S and T represent first, second and third 10 days of each month, respectively.

Note 2: Climatic zone I: north eastern region, II: north western region, III: Taichung - Changhwa region, IV: Yunlin - Chiayi region, V: south western region, VI: southern region, VII: east shore region.

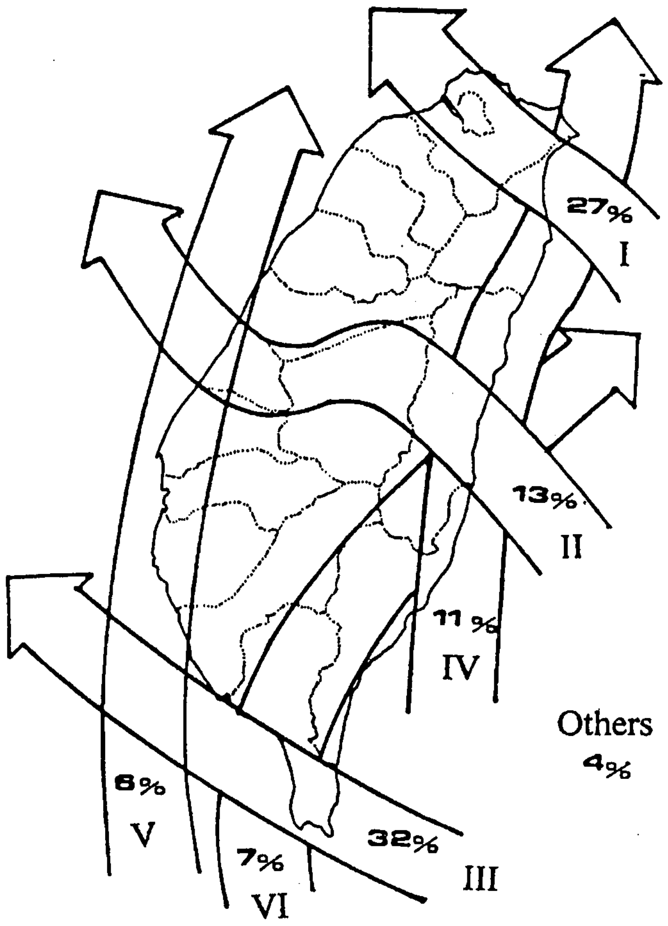

Figure 2. Probabilities of typhoon passing through Taiwan from the six major pathways. (Adapted from Kuo, 1980).

北角之宜蘭沿海的頭城、狀圍、五結等地及屏東縣南端沿海的枋寮、枋山、恒春等地區歷年受害頻率最高。

颱風對稻作的危害程度與風速和所挾帶的豪雨量成正比，造成災害的原因分別有因排水不及使稻株浸水或淹沒、遭洪水沖刷流失或被土石埋沒、因強風使穎花或稻穗脫落或稻株倒伏折斷、以及沿海地區因海水倒灌所產生之災害等。此外，稻株於強風中因激烈之搖擺與磨擦作用可導致葉片受損，以致白葉枯病、稻熱病等病原菌易於侵入發生二次危害(李，1995；真木，1995)。當風速達 20-25 ms^{-1} 時稻作減收 10%，達 25-30 ms^{-1} 時減收 15%，達 30-40 ms^{-1} 時減收 20%(汪，1974)。

二、鹽風害

Boyce(1954)指出當風速高於 5.5 $m\ s^{-1}$，海風中即可挾帶大量鹽沫。臺灣冬季期間之東北季風因與全球大氣環流之東北信風同向，故風力特別大，每年自 10 月至翌年 3 月間，北桃沿海地區的平均風速多在

8 m s^{-1} 以上，最高風速可達 17 m s^{-1} 以上(郭，1978)，加上所夾帶的海水鹽沫合併造成鹽風害，可嚴重爲害到沿海地區的二期稻作。北桃沿海地區因與東北季風呈正交，是臺灣西部沿海地區空氣中所含鹽沫量最高者，鹽沫主要沉降於海邊 350 m 內，但細微滴可隨風深入內陸(陳，1984)。鹽風害主要爲害由桃園至雲林間之臺灣西北部及西部沿海地區(郭，1991)。

鹽風害可導致葉片破損、穀粒變黑、株高受抑制，且造成水稻成熟期延遲、稔實率降低、每穗粒數降低與千粒重減少等現象，進而影響水稻產量(林等，1994；謝等，1996)，在米質方面則導致碾米品質及米粒中直鍊澱粉含量、粗蛋白質含量和膠體展延性的降低(林及張，1995)。陳及鄭(1993)指出北桃沿海地區木麻黃防風林受颱風損毀後，颱風及東北季風導致大量鹽沫隨風侵入造成稻作減產。謝等(1996)指出中部濱海地區二期作受東北季風帶來之含鹽冷風影響，使抽穗期的水稻無法正常受孕而成空粒，或充實不完全，導致產量降低。

三、焚風害

郭及楊(1982)指出侵臺颱風在臺灣地區誘發焚風之頻率高達七成。當颱風中心通過臺灣南部陸地或南方及西南方海面時，能在中央山脈西側如淡水、新竹、臺中、日月潭、臺南、永康等地誘發焚風，當颱風中心通過臺灣中部、北部、東北部陸地或東方及東北方海面時，能在新港、大武、臺東、花蓮、宜蘭等地誘發焚風。由焚風所導致的溫度昇高多在 5℃以內，最高可達 11.7℃；相對濕度降低多在 25%以內，最低可達 49%；持續時間多在 6 小時以內，但亦有長達 16 小時者。

焚風發生時，因氣溫升高，濕度降低，導致葉片蒸發作用旺盛，水分損失過多，根部吸水不及，致穗葉枯萎。由於水稻在營養生長期間，尤其是生長初期，因水稻多處於湛水狀態，因此焚風影響較小(李，1995)；但若焚風發生於水稻的抽穗、開花期間，將導致稔實率降低，嚴重影響產量(真木，1995)；若發生在成熟後期，將使穀粒外表變黑並降低飽滿度。以民國七十年六月十三日艾克颱風在宜蘭地區誘發焚風爲例(農業氣象旬報，1981)，因正值當地一期作水稻之孕穗至抽穗期，僅 5-6 小時的乾熱風，使得數千公頃的稻田發生白穗無法收穫，損失近億元(臺灣農業年報，1981)。

爲防護風害必須設置防風措施，於桃園和彰化沿海的防風、防鹽效果試驗指出防風林的防護效果約可達 5H，距離木麻黃防風林在 100 m 內可增收精穀 45%，在 50 m 內可增收精穀 62%，米質也顯著提高(林等，1994；Chang, 1987)。臺灣沿海地區的防風設施以種植防風林最普遍，西北部以木麻黃、竹林(不耐鹽風害)爲主，南部以木麻黃最多，其次爲黃槿、相思樹和大葉合歡等(黃及楊，1987)，近年則認爲欖柳的防風防鹽效果不錯(周，1999)。防風林帶的寬度最好能有 1 km 深，最窄也應有 20-30 m(真木，1995)。江及李(1985)指出 10 行木麻黃(行株距 3/7 H)的防風林帶是最經濟有效的海岸防風林的佈置方式。防風林不僅可降低風速使葉片蒸散減少，且因有林木的蒸散作用可加濕並降低氣溫，因此亦可相當程度的減輕焚風傷害(真木，1995；Rosenberg *et al.*, 1983)。防風林易有遭受颱風損害、遮陰、降低土地利用率、林帶更新等問題，若改用化纖防風網，不僅架設方便，且可架設於田埂上不會佔用土地，也不需等待防風林之長成，但防風網防鹽與降低焚風傷害的效果不如防風林。在無鹽害之虞的嘉義內陸平原地區，曾等(1984)利用防風網減緩強勁的冬季季風對一期作水稻的傷害，除可降低風速外，也可增加水稻植叢內的溫度，可以加速株高生長、提早抽穗、增加穗數及產量。

除採用防風林或防風網等防風措施外，可以選擇具有短稈、粗稈、葉面積小等特徵之抗風性強的品種，但其單位面積生產力通常不及一般品種。密植、多氮會使水稻徒長不耐風，多施鉀肥、矽酸肥料可加強稻稈的機械強度增加抗風性(Yoshida, 1981)。颱風或豪雨後，將倒伏或傾斜的稻株捆成一束避免泡水，可減少穗上發芽之損害。北桃地區第二期作應改種生育日數較短的早熟稻，如臺稉 1 號及高雄 142 號，以減少東北季風所引起之鹽風害(林等，1994)。利用清水於一日內洗去稻株上之鹽沫，亦可減輕鹽風傷害(真木，1995)，但可能並不符合經濟效益。爲預防焚風傷害也可於田間適度灌水，以降低氣溫並提高空氣濕度。

參、雨害及其防護措施

易導致水稻發生雨害的降雨類型可分爲(1)東北季風雨：九月下旬起，東北季風逐漸增強，臺灣地區東北部爲迎風面，因地形抬升作用造成霪雨，主要危害東北部與北部地區。(2)鋒面雨：臺灣地區由五月中旬起至六月中旬止的梅雨期間，位於太平洋副熱帶高壓北緣的滯留鋒面，常爲臺灣地區帶來持續性或間歇性的降雨，全臺灣地區水稻均可能受害。(3)對流雨：夏季地面受熱產生旺盛的對流作用，配合由西南或東南季風所引入之高溫多溼的海洋性氣團，產生降雨強度大之對流雨，主要危害西南部地區。(4)颱風雨：由颱風所引入之豪雨，對臺灣各地危害程度依颱風路徑而異，已述於颱風害一節中。

稻作遭受的雨害包括如開花期影響授粉及稔實、穎花遭受雨打受損、大雨後排水不及以致禾苗淹沒、以及成熟期連續陰雨導致稻穗發芽，病害發生等。雨害發生頻率亦與地區的排水能力有關，如地勢高或排水良好，可於短期內排洩積水，則受害機會少；反之如地勢低窪，縱然降雨少，亦可能因雨水匯集而受災；在河溪中下游沿岸，或山坡地附近之農田，則可能遭洪水沖毀或土石埋沒。

稻作雨害的受害程度與降雨時間和雨量有密切關係。梅雨期間的間歇性豪雨常可使水稻倒伏發芽，因此臺南、嘉義地區一期作水稻產量與梅雨期間的雨量呈顯著負相關(楊，1980)。淹水對水稻生育之影響則隨水溫、水質、淹水高度而有不同，一般而言，水溫越高、水質越濁、淹水高度越深者爲害越大。在各生育期淹水爲害程度列於表 5。由表可知淹水時期以孕穗期爲害最嚴重。

在雨害防制方面，除應繼續加強現有各式治山防洪的措施外，尤應妥善規劃農田之灌排水系統，並保持排水道的暢通，目前之灌排水系統多合而爲一，在平日雖無大礙，但當大雨發生時，位於灌排系統中下游之農田中的水多無法順利排出。吳等(1976)改善排水不良之低濕地區的排水系統，栽培矮性品種(高雄 140 號)並改進施肥技術後，產量可提高約 50%。梅雨期間陰雨綿綿，日照減少甚多，需減少氮肥之施用量，以免因徒長使稻株軟弱而倒伏。雨後並應適時實施葉稻熱病、白葉枯病等之預防性施藥。

肆、旱害及其防護措施

臺灣地區平原部份年雨量多超過 1500 mm，山地年雨量則多達 4000 mm 以上；年蒸發量南部地區約在 2000 mm 以下，北部地區多在 1500 mm 以下(戚，1988)，因此臺灣地區之稻作栽培理論上不易發生旱害。但是由於橫亙全島南北高大山系之阻擋，東北季風中所含的水氣幾乎全部落於東北部與北部，翻山後的氣流水氣減少，加上下沉增溫作用，使西南部地區在冬春季有長達半年的乾季；不僅如此，夏季期間因受太平洋副熱帶高壓下沉氣流之影響，降雨機會亦少，因而臺灣西

南部地區的稻作栽培主要依靠水庫存蓄梅雨和颱風所帶來之降水。若五、六月間之梅雨鋒面因太平洋副熱帶高壓之發展而提早北移，以致梅雨減少，將影響二期作稻田之整地與插秧。夏秋間颱風減少，將導致二期作水稻在抽穗至成熟期間，發生缺水造成旱害，並間接影響翌年一期作稻田之整地與插秧。通常上述任一種因素所造成的短期乾旱，對稻作的影響小，但是若兩種因素同時發生，則乾旱時間增長。沿海地區因處於灌溉系統末端，且蒸發散量大，極易發生旱害。以民國八十二年為例，五、六月間梅雨量較平年為少，七至九月間又無颱風帶來大量雨水(農業氣象旬報，1993)，因此十月間新竹、苗栗、臺中沿海地區二期稻作發生嚴重旱害，受害面積達二千公頃，損失金額超過五千萬元(臺灣農業年報，1993)。

Table 5. Percent damage of paddy rice by various conditions of flooding. (Adapted from Wang, 1974; and Hayakawa,1991)

Stage	Condition	Number of Days Flooded			
		1-2	3-4	5-7	>7
Transplanting	CW/tip flooded	—	—	5	20
Tillering	CW/tip flooded	10	20	30	35
	MW/tip exposed	20	50	85	85
Booting	CW/tip exposed	10	30	65	>90
	CW/tip flooded	25	45	80	>90
	MW/tip exposed	20	50	85	>90
	MW/tip flooded	70	80	85	>90
Heading	CW/tip flooded	15	25	50	70
	MW/tip flooded	30	80	90	>90
Ripening	CW/tip flooded	—	15	20	20
	MW/tip flooded	20	20	30	30

Note: CW means clear water, MW means muddy water.

民國五、六十年代間，由於石門、曾文、德基等大型水庫與灌溉系統之興築，解決了水稻的供水問題，僅餘缺乏灌溉設施之中南部沿海地區、北部山坡地及東部沿海地區仍有較多旱害。近年因環保意識提高，不易設置新水庫，舊有之水庫因泥沙瘀塞蓄水量漸減，加以民生和工業用水急速增加，因此中南部地區的旱害問題將日趨嚴重。旱害之發生與降雨、蒸發散量及土壤儲存水分能力有密切之關係，申及黃(1996)曾利用日射量和氣溫推估臺灣西南部地區的潛在蒸發散量，並配合各地土壤中可利用水分和有效降雨量的資料，指出區內發生乾旱的機率以嘉南平原最高，其次為雲林地區與臺中盆地，彰化地區再次之。

水稻較旱作糧食作物有更高的水分需求，在旱季水稻蒸散量每月約為 160 mm，在雨季約為 110 mm (Doorenbos and Pruitt, 1977)，水稻蒸發散量在營養生長期和成熟後期約為 4 mm day^{-1}，在生殖生長期與成熟前期約為 6 mm day^{-1} (Robertson, 1975；Yoshida, 1977)，因此極易受到缺水影響。缺水所造成的問題則視缺水時期的長短，以及水稻的生育階段而異。抽穗前缺水可干擾稻穗抽出，開花期缺水將抑制受粉，增加稻穗的不稔率(Cruz and O'Toole, 1984)。缺水若發生於穀粒充實期，將加速葉片老化，影響穀粒充實率及千粒重(Rahman and Yoshida, 1985)。不同

生育期水稻之抗旱性列於表 6，可知稻之每日平均需水量以幼穗形成至出穗期間最多，成熟期次之，分櫱期再次之。故稻田灌水以抽穗期最重要，稍有不足則產量減少(Yang, 1994)。

Table 6. Drought tolerance of paddy rice at different growth stages. (Adapted from Wang, 1974)

Stage	Tolerance
Transplanting	Weak
Tillering	Less Weak
Panicle primodia	Medium
Panicle Initiation	Weak
Booting	Weakest
Heading	Weak
Anthesis	Weak
Milky	Less Weak
Dough	Strong

有關旱害的防護措施，可分爲開源與節流兩方面。在開源方面，除新設水庫外，亦可考慮以埤、水塘、攔河堰等方式截存梅雨和颱風時所帶來之雨水；也可設法提高水田土壤的滲漏速率，平日可增加地下水的補注，旱季時則可抽用地下水進行灌溉。土壤滲漏速度對水稻初期之生長影響不大，但至幼穗形成期後若有適宜之滲漏，可因單位面積之穗數、每穗粒數及稔實率之提高而增加產量(張等，1976)。黃(1982)指出滲漏速率高有利於水稻生產，若滲漏速率大於 1 mm day^{-1} 則稻穀產量可達 5 t ha^{-1} 以上，若滲漏速率小於 1 mmday^{-1} 則稻穀產量偏低且變異大。日本高產稻田每日之滲漏速率約爲 15-20 mm day^{-1} (Yahata, 1976)。在節流方面，可行節水栽培，在成活期、幼穗形成期、抽穗開花期間需保持適度水深，其餘各生育期間則可使用淺水輪灌或不必灌溉(李等，1993；李及陳，1994；李等，1996；久保，1995)，或以水分利用效率較高的早熟品種取代晚熟品種(Matsushima, 1962)。將現有灌溉措施由明溝改爲管線，可以減少輸水路程中的蒸發損失，提高輸水效率。利用防風措施減緩風速，以減少葉片之蒸散消耗，則早已成爲乾旱地區普遍設置的節水措施(Rosenberg *et al.*, 1983)。遮陰、改變植被反射率、使用蒸散抑制劑等也方法也都被用於減緩作物所遭受的水分逆境與熱逆境(Blad and Lemeur, 1979)。

伍、寒害及其防護措施

水稻原爲熱帶植物，因此需有高溫方能生長成熟。水稻生長之適溫依品種、生育期、及地區而異，一般而言，稉稻適溫低於秈稻，生育後期高於生育前期，熱帶地區高於溫帶地區。表 7 爲水稻在不同生育階段的臨界溫度。由表可知在抽穗與開

Table 7. Critical temperatures to paddy rice at different growth stages. (Adapted from Yoshida, 1977)

Stage	Low Temp.(℃)	High Temp.(℃)
Germination	10	45
Seedling emergence and establishment	12-13	35
Rooting	16	35
Leaf elongation	7-12	45
Tillering	9-16	33
Panicle initiation and differentiation	15-20	38
Anthesis	22	35
Ripening	12-18	30

花期間水稻對低溫最爲敏感，若逢低溫則不稔度顯著提高。Satake (1976)亦指出水稻寒害不稔的臨界溫度約爲 20℃。

臺灣地區位於歐亞大陸之東緣，自秋末至翌年初春易受極地冷氣團南下之影響，各地的旬平均氣溫自 12 月中旬起至翌年 3 月上旬均低於 20℃，而中北部地區氣溫明顯較南部地區低。臺灣地區水稻罹受寒害有兩個時期，一爲中南部地區一期水稻的生育初期，由於中南部地區冬季平均溫度較高，一期作水稻播種較早，而強烈寒流入侵時間多在一、二月間，秧苗易遭受寒害。此外，臺中地區因屬盆地地形，冷空氣可沿雪山山脈由盆地東北方流入，而雲嘉南地區因輻射冷卻強烈，夜間低溫下降甚多，也是導致這些地區易遭受寒害的原因之一。另一易受害的時期爲北部地區二期水稻的的抽穗期，中北部地區二期水稻如插秧晚，於九月下旬或十月上旬始抽穗，則易受寒流低溫影響，導致花粉母細胞畸形分裂，形成空穎、結實率降低或充實不良。但是，臺灣北部地區冬季氣溫雖低，卻因東北季風盛行之故，天空雲量較多，地面輻射冷卻弱，所以二期稻作遭受寒害的機率反而較少。因此，臺灣地區水稻寒害多發生於中南部之一期作生育初期。

在寒害預防措施方面，中南部地區一期作育苗期如遇寒流預報，可以利用透明 PE 塑膠布或不織布覆蓋做爲育苗田保溫措施(曾等，1984)，其中透明 PE 塑膠布因透光率高，因此秧苗生長會較以不織布覆蓋者爲快，但日出後因溫室效應之故，覆蓋內的溫度急遽上升，以致影響秧苗生育，因此需於清晨掀開覆蓋兩端使其通風。不織布因具有透氣孔隙，因此不需做通風的措施。此外，也應避免在寒流通過前後插秧，已插秧的田區可以灌水保護，但水深不應超過心葉。在秧苗期亦可少量施用鉀肥以防寒害。至於北部平地二期作安全插秧的晚限不應遲於八月中旬，且應選擇早熟品種;山區海拔高度每增加 100m 需提早 4 日(楊，1979)。在抽穗開花期間如遇寒流來襲，則可以灌入 20℃以上水溫的水(如地下水)15-20 cm 深，以保護低溫所可能導致的不稔。岩切(1991)指出日本北方利用防風措施可防護水稻冷害，但此法通常無法防護臺灣地區水稻遭受之寒害，因爲臺灣地區的寒害多數係由於強烈之輻射冷卻所引起，若使用防風措施則將使原本已相當微弱的風速更加減緩，導致由較高處之暖空氣向下輸送的感熱減少，反而可能造成傷害(真木，1995；申等，1997)。曾等(1984)在嘉義內陸空曠平原地帶進行的防風效能試驗，亦指出僅當北風系統強盛時，才能顯出防風的效果，而防寒的效果並不顯著。

陸、結　語

水稻是臺灣地區主要的糧食作物，栽培面積約佔全部耕地面積的一半。基於對稻米生產的需求，臺灣地區之稻作栽培分爲一、二期作，各期作的栽培時序雖已儘可能避開主要的氣象災害，但因氣象環境多變，因而氣象災害之發生仍時有所聞，所以仍需加強相關防護措施的研發，並將研發的成果予以推廣提供農民採行，以儘量減少損失。

對於臺灣地區常見的四大農業氣象災害而言，依目前天氣預報技術和傳播媒體發達的程度，農民已能充份掌握其動態，唯由於稻米的售價不高，同一地區連續發生災害的頻率也不高，因此農民對於氣象災害造成之損失，多停留於對災害的認知和情感上的惋惜而已，能主動採行防護措施的農民不多(李及董，1998)。因此擬推廣的長期性防護措施應能有多種用途，除可分攤設置防護措施的投資費用外，並能使防護措施得以永續維護。

水稻田除具有「生產性機能」外，亦具有「生態性機能」和「生活性機能」(蔡，

1995)。在各種稻作生產農業氣象災害的防護措施中，如能加強有關防風林帶的規劃和設置，以及有關水田土壤滲漏速度之改良等方面的研究與推廣工作，不僅可減輕風害與旱害對稻作的傷害，提升水稻田的「生產性機能」，也可因涵養地下水源防止地層下陷、調節環境氣候、生態保育、以及環境美化等功能，加增水稻田在「生態性機能」和「生活性機能」兩方面的貢獻。

柒、引用文獻

申雍、黃學文. 1996. 臺灣西南部地區潛在蒸發散量之估算與應用. 中華農業氣象 3: 141-149.

申雍、詹文揚、郭同慶. 1998. 屏東地區蓮霧園寒害防護措施之評估. 中華農業氣象 5: 7-13.

江永哲、李遠欽. 1985. 海岸防風林不同林帶寬度消減風力之效果. 農林學報 34: 37-50.

汪呈因. 1974. 稻作學與米. 徐氏基金會.

李炳和、董時叡. 1998. 嘉義地區農漁民農業氣象災害預防態度之探討. 中華農業氣象 5: 49-57.

李超運. 1995. 氣候因素對花蓮地區八十三年二期作水稻生育與產量之影響. 中華農業氣象 2: 129-134.

李健捀、陳世雄、許愛娜、宋勳. 1993. 穀粒充實期土壤水分境況對水稻生育及米質之影響. 臺中區農業改良場研究彙報 39: 41-50.

李健捀、陳世雄. 1994. 營養生長期土壤水分境況對水稻生育之影響－對產量及產量構成要素之影響. 臺中區農業改良場研究彙報 42: 29-40.

李健捀、宋勳、陳世雄. 1996. 營養生長期提早斷水對水稻生育之影響. 臺中區農業改良場研究彙報 50: 1-9.

周國隆. 1999. 澎湖農林混植之研究(1)檉柳防風林對落花生與甘藷生產之影響. 中華農學會報 新 174(印刷中).

吳育郎、鍾德月、周德雄. 1976. 高屏地區二期作水稻的綜合改進. 科學農業 25(1,2): 36-41.

林孟輝、陳素娥、張學琨、林文龍. 1994. 東北季風對水稻生育之影響及防風林之防護效果. 中華農業氣象 1: 107-114.

林孟輝、張學琨. 1995. 東北季風對早晚熟粳稻稻米品質之影響. 中華農業氣象 2: 23-30.

陳錦煌、鄭福田. 1993. 北桃沿海地區防風林及稻作損害之文獻回顧及系統分析方法. 臺灣地區空氣污染與農業氣象對作物生產影響研討會專輯. p.49-69. 中華農業氣象學會.

陳昌秀(譯). 1984. 臺灣海岸附近空中鹽分附著量調查報告. 臺灣林業 10(10): 11-35.

郭文鑠. 1978. 臺灣農業氣候區域研究. 中央氣象局.

郭文鑠. 1980. 臺灣農業氣候區域規劃. 中央氣象局.

郭文鑠、楊之遠. 1982. 颱風誘發焚風現象及其對農作物之影響. 氣象學報 28(3,4): 1-12.

郭鴻裕. 1991. 稻田生產力及坡地果樹適栽調查之回顧. 土壤及農業氣象資源應用研討會專刊. p.15-30. 臺灣省茶葉改良場.

戚啓勳. 1988. 氣象與工程. 中國工程師學會.

黃大宏、楊之遠. 1987. 臺灣之季風及其對作物栽培影響之研究. 氣象學報 33(2): 91-31.

黃明輝. 1982. 影響水稻生產之土壤物理性檢定. 中華農業研究 31: 347-352.

曾文柄、朱鈞、郭文鑠、楊之遠. 1984. 臺灣地區農業氣候資源應用之研究. 中央氣象局.

曾文柄、朱鈞、楊之遠. 1986. 氣象因素

對臺灣地區農作安全栽培期限影響之研究. 氣象學報 32: 44-48.
張學琨、宋勳、胡燦、侯福分、曾勝雄、洪增秋. 1976. 臺灣中南部二期水稻綜合改進成果報告. (1)彰化縣排水不良及沿海地區二期稻作增產方法之研究. 臺灣農業 12(3): 90-97.
楊之遠. 1979. 臺灣地區溫度年變化與水稻安全栽培期限之關係. 氣象學報 25(4): 21-28.
楊純明. 1995. 臺灣地區農業氣象災害(1945-1993)及因應之研究方向. 中華農業氣象 2: 31-35.
蔡明華. 1995. 水稻田生態環境維護對策之推行. 中日農業水利生態研討會論文集. p.67-86.
謝慶芳、劉金錢、徐國男. 1996. 中部濱海地區空氣中氯、鈉及火力發電廠排放物對作物生長之影響. 中華農業氣象 3: 159-168.
久保祐雄. 1995. 農業氣象災害 8.干害. 農業氣象學. 坪井八十二(編著). p.96. 養賢堂.
早川誠而. 1991. 各種の農業氣象災害と對策 7.水害. 農業氣象災害と對策. 真木太一、鈴木義則、鴨田福也、早川誠而、泊功(編著). p.165-180.
岩切敏. 1991. 各種の農業氣象災害と對策 1.冷害. 農業氣象災害と對策. 真木太一、鈴木義則、鴨田福也、早川誠而、泊功(編著). p.28-61.
真木太一. 1995. 農業氣象災害特別是風害及其防止法. 中日農業氣象研討會專集. p.191-208. 中華農業氣象學會.
Blad, B. L. and R. Lemeur. 1979. Miscellaneous techniques for alleviating heat and moisture stress. *In*: Modification of the Aerial Environment of Crops. Barfield, B.J. and J.F. Gerber (eds.). p.409-425. ASAE.
Boyce, S.G. 1954. The salt spray community. Ecol. Monogr. 24(1): 29-67.
Chang, S.K. 1987. The cause of low yield of the second crop rice in relation to the measures of increasing its productivity in central Taiwan. Spec. Publ. No.9 Taichung DAIS.
Cruz, R.T. and J.C. O'Toole. 1984. Dryland rice response to an irrigation gradient at flowering stage. Agron. J. 76: 178-183.
Doorenbos, J. and W.O. Pruitt. 1977. Crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper no. 24.
Rahman, M.S. and S. Yoshida. 1985. Effect of water stress on grain filling in rice. Soil Sci. Plant Nutr. 31: 497-511.
Robertson, G.H. 1975. Rice and Weather. WMO Tech. Note 144.
Rosenberg, N.J., B.L. Blad and S.B. Verma. 1983. Microclimate. The Biological Environment. 2nd ed. John Wiley & Sons.
Yahata,T. 1976. The fertility of paddy soils and fertilizer application for rice. *In*: Physical Properties of Paddy Soils in Relation to their Fertility. ASPAC.
Yang, C.M. 1994. Response of rice yield in relation to solar radiation and air temperature under soil water deficits. Chinese J. Agromet. 1: 27-34.
Yoshida, S. 1977. Rice. *In*: Ecophysiology of Tropical Crops. P. de T. Alvim and T.T. Kozlowski (eds.). Academic Press.
Yoshida, S. 1981. Fundamentals of Rice Crop Science. IRRI.

69 - 85, 1999

Chapter 5 Agrometeorological Disasters and Rice Production in Taiwan

Yuan Shen

Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan 402, ROC

ABSTRACT

Wind (typhoon, salt-spray, and foehn), rain (Mei-Yu and storm), drought, and cold Temperature are four major agrometeorological disasters to rice production in Taiwan. Accumulated total loss during the past twenty years exceeded ten billion NT dollars. As the results of topography and changing direction of monsoon, the probabilities of experiencing damages showed significant differences among locations and seasons. Taipei, Taoyuan, Taichung, Changhwa, Yunlin, Chiayi, Kaohsiung, and Yilan were prefectures experiencing wind damages most. Changhwa, Yunlin, Chiayi, and Yilan were prefectures experiencing rain damages most. Miaoli, Yunlin, Yilan, and Taitung were prefectures experiencing drought damages most. Taichung, Yunlin, and Yilan were prefectures experiencing cold damages most. Due to the extensive use of land, the rice-cropping period in Taiwan usually do not in accordance with the climatically safe period. Therefore, various preventive techniques to modify microenvironment of rice field are needed to reduce the damages by those agrometeorological disasters. Among all the possible measures, establishing windshelters and increasing soil percolation rate worth more emphases because these two measures will make significant contribution not only from the perspective of increasing production but also from the perspective of ecological preservation and living environment improvement.

Key words: Typhoon, Salt-spray, Foehn, Mei-Yu, Storm, Drought, Cold, Paddy rice, Preventive techniques.